

3. Ермакова Л.А. Создание электронной информационной образовательной среды в СибГИУ / Л.А. Ермакова, А.Е. Шендрик // Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах: труды IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 12–15 апреля 2016 г. – Новокузнецк, 2016. – Ч. 2. – С. 59–64.

4. Гусев М.М. Автоматизация процесса регистрации пользователей в LMS MOODLE // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. – Новокузнецк, 2016. – Т4. – С. 195–197.

5. MoodleDocs [Электронный ресурс] – Режим доступа – [[https://docs.moodle.org/dev/Main\\_Page](https://docs.moodle.org/dev/Main_Page)] – Загл. с экрана (дата обращения: 27.04.2017).

УДК 004.942

**И. А. Рыбенко**

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк, Россия

## **ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

### **Аннотация**

*В статье приведено описание инструментальной системы «Инжиниринг-Металлургия», предназначенной для исследования и оптимизации металлургических процессов. Система представляет собой комплекс программ и баз данных, адаптированных к различным вариантам металлургических технологий, которые разработаны средствами Microsoft Excel и объединены в одну инструментальную систему путем создания надстройки с использованием языка программирования Delphi. Система позволяет осуществлять гибкий выбор набора входных и выходных параметров системы, рассчитывать материальный и тепловой балансы, определять температуры процесса, рассчитывать массы и химический состав продуктов, технико-экономические показатели, проводить термодинамический анализ химических реакций, определять активности компонентов фаз и решать задачу оптимизации по формальным критериям. С использованием разработанных программ можно осуществлять многовариантные расчеты, решая как прямую задачу прогнозирования, так и обратную задачу управления, поводить исследования процесса и строить зависимости различных показателей от требуемых параметров, решать задачу оптимизации по различным критериям.*

*Ключевые слова:* металлургический процесс, математическая модель, инструментальная система, комплекс программ, оптимизация.

### **Abstract**

*The article describes a tool "System Engineering-metallurgy, intended for exploration and metallurgical processes optimization. The system is a set of programs and databases, adapted to the various options of metallurgical technologies which are designed with Microsoft Excel and merged into one tool system by creating add-ins using Delphi programming language. The system allows flexible selection of a set of input and output parameters of the system, expect material and heat balances identify process temperature, calculate mass and chemical composition of products, technical-economical indicators, conduct thermodynamic analysis of chemical reactions, to determine the activity of the components of the phases and the task of optimization on formal criteria. Using the developed programs can perform multivariate calculations, solving both direct task of forecasting, and backward management task.*

*Keywords:* mathematical model, metallurgical process, tooling system, complex programs, optimization.

Разработка новых и совершенствование существующих металлургических технологий невозможна без исследований на математических моделях. Поэтому актуальной задачей является разработка инструментальных систем, реализующих математические модели, которые бы позволили проводить эффективные исследования и оптимизацию металлургических процессов [1–6].

В связи с этим разработана инструментальная система «Инжиниринг-Металлургия» в виде комплекса программ и баз данных, позволяющая осуществлять многовариантные расчеты и определять оптимальные режимы реализации различных вариантов металлургических технологий.

Система «Инжиниринг-Металлургия» реализована средствами Microsoft Excel путем осуществления связей и математических расчетов между элементами совокупности таблиц и применения встроенной процедуры среды Excel «Поиск решения» – Solver, и представляет собой комплекс программ, адаптированных для ряда металлургических технологий, объединенных в одну инструментальную систему путем создания надстройки с использованием языка программирования Delphi.

Система позволяет осуществлять гибкий ввод исходных данных для выбранного типа процесса, рассчитывать все стадии и подпроцессы для заданного варианта технологии, определять термодинамические функции веществ, химических реакций и активности компонентов фаз. По результатам расчетов формируются таблицы материального баланса на уровне потоков, веществ и элементов, теплового баланса процесса и определяется равновесная температура. Определяются массы и химический состав продуктов – металла, шлака, газа, технико-экономические показатели и решается задача оптимизации по формальным критериям.

Программы, разработанные в среде Microsoft Excel, включают в себя блоки «Исходные данные», «Балансы», «Энтальпии», «Активности», «Реакции», «Технико-экономические показатели», «Оптимизация», «Графика», «Исследование», в которых используются следующие базы данных: «Химический состав материалов», «Термодинамические свойства индивидуальных веществ (ТСИВ)», «Параметры взаимодействия 1-го порядка», «Атомные параметры», «Термодинамические характеристики реакций фазовых переходов и растворения элементов», «Удельные энергоемкости материалов» (рис. 1).

В блоке «Исходные данные» осуществляется ввод исходных данных: расходы, температура и химический состав для заданного набора шихтовых материалов и технологические параметры процесса. Пользователю предложен полный перечень шихтовых материалов для выбранного варианта технологии. По умолчанию в программе заданы химические составы всех используемых материалов, которые пользователь может изменять по своему желанию. Параметры процесса определяются типом технологии, это могут быть тепловые потери, потери металла в виде корочек, коэффициенты усвоения материалов, КПД, коэффициенты распределения элементов по фазам, степень дожигания отходящих газов и т. д. Значения этих параметров также заданы по умолчанию. Их можно изменить, либо настроить самостоятельно с помощью встроенного оптимизатора. В блоке «Балансы» осуществляется расчет всех стадий и подпроцессов, а также материального и теплового балансов.

При расчете материального баланса производится декомпозиция всех веществ, поступающих в металлургический агрегат, сначала на вещества, а затем на элементы, которые с использованием коэффициентов распределения по фазам перераспределяются в металл, шлак или газ. Коэффициенты распределения настраиваются по результатам термодинамического моделирования для проектируемых процессов либо задаются на основании экспериментальных или литературных данных для известных технологий.

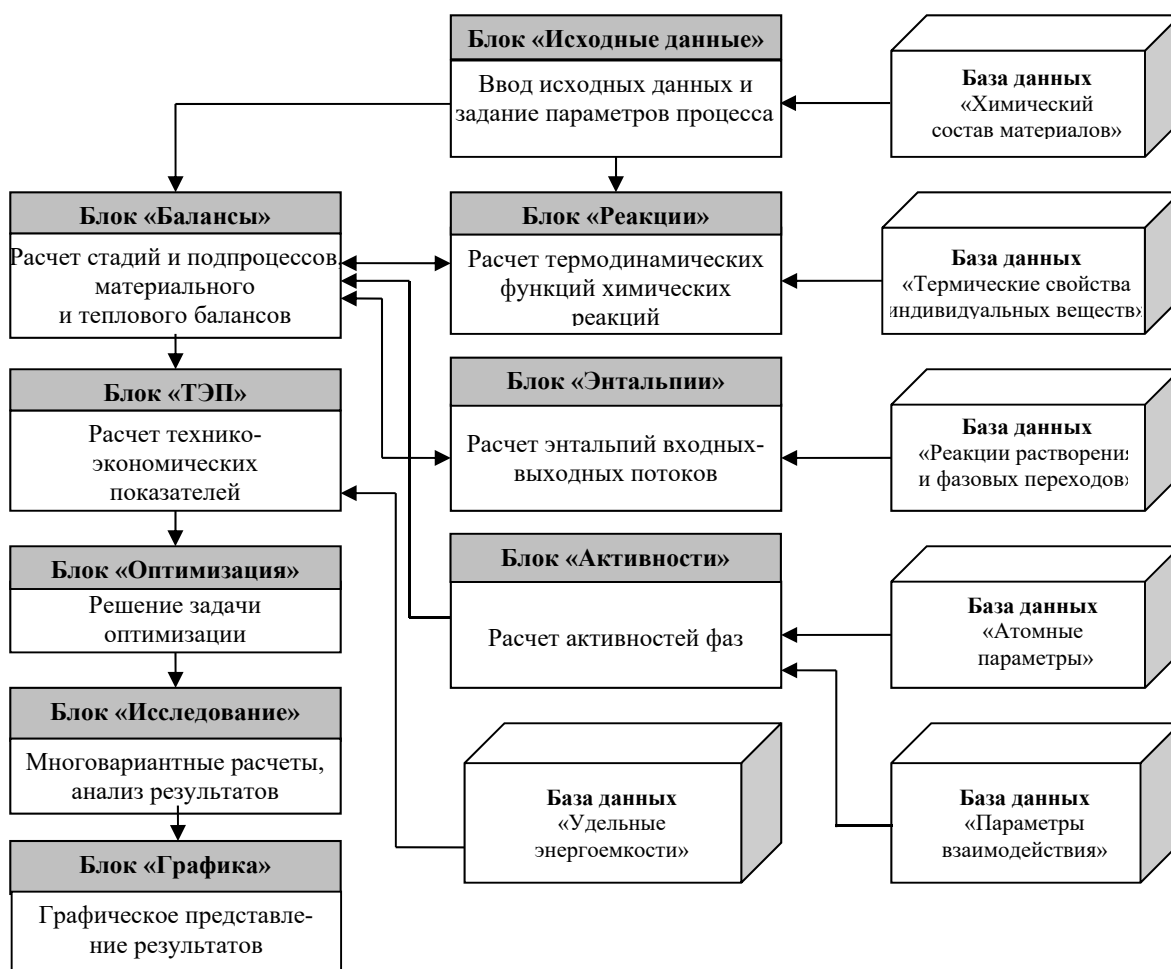


Рис. 1. Схема инструментальной системы «Инжиниринг-Металлургия»

Материальный баланс представлен балансами потоков, веществ и элементов. В результате дальнейшего расчета формируются составы и массы металла, шлака и газа. В этом же блоке рассчитываются все статьи теплового баланса. К приходной части баланса относятся энтальпии исходных материалов, тепловые эффекты экзотермических реакций и приход тепла от внешних источников, к расходной – энтальпии продуктов, тепловые эффекты эндотермических реакций и потери тепла в окружающую среду.

Энтальпии исходных материалов и конечных продуктов рассчитываются в отдельном блоке «Энтальпии», в который из блока исходных данных передаются значения температуры, массы и состава исходных материалов, имеющих температуру выше 298 К, и из блока расчета материального и теплового балансов – значения температуры, массы и составов металла, шлака и газа. В расчете используются данные термодинамических функций веществ с использованием базы данных «Термодинамические свойства индивидуальных веществ».

В зависимости от поставленной задачи (прогнозирование или управление) температура металла может быть задана или рассчитана с использованием процедуры среды Excel «Solver» путем минимизации абсолютного значения невязки теплового баланса.

В блоке «Активности» производится расчет активностей компонентов металла с использованием аппарата параметров взаимодействия, шлака – по теории коллективизированных электронов и парциальных давлений газовой фазы. При расчетах активностей используются базы данных «Параметры взаимодействия 1-го порядка» и «Атомные параметры».

Термодинамический анализ химических реакций константным методом осуществляется в блоке «Реакции». Для реакций горения, восстановления, окислительного рафинирования и реакций между индивидуальными веществами рассчитываются изменение изобарно-изотермического потенциала и константа равновесия. Для этого используются данные расчетов термодинамических функций индивидуальных веществ с использованием справочника

«Термодинамические свойства индивидуальных веществ» и баз данных по термодинамическим характеристикам реакций фазовых переходов и реакций растворения элементов в жидком железе. Производится оценка степени отклонения реакций от термодинамического равновесия путем анализа показателя отношения произведения активностей реагирующих веществ к константе равновесия. Для чего используются данные по активностям компонентов металла и шлака.

Блок «Технико-экономические показатели» представлен таблицей расчета производительности агрегата, удельных расходов материалов, себестоимости и энергоемкости продукта. При этом используется база данных значений удельных энергоемкостей материалов.

В блоке «Оптимизация» осуществляется решение оптимизационных задач формальными методами, которое заключается в нахождении экстремума одного из критериев при выполнении системы ограничений с использованием встроенного оптимизатора «Solver». В качестве критериев предложены следующие показатели: суммарный расход шихтовых материалов на единицу продукции, себестоимость, энергозатраты и производительность агрегата. В систему ограничений входят требования к составу получаемого продукта, диапазоны изменения расходов компонентов входных потоков и параметров состояния системы, соблюдение закона сохранения массы на уровне потоков, веществ и элементов, соблюдение закона сохранения энергии, выполнение целевых условий по остальным критериям. Встроенный оптимизатор «Solver» также используется для настройки коэффициентов модели и определения температуры конечных продуктов путем минимизации невязки теплового баланса.

В блоке «Оптимизация» также представлены сводные результаты расчета: материальный баланс по потокам, общий тепловой баланс, технико-экономические показатели и составы металла, шлака и газа.

В блоке «Графика» реализовано графическое представление результатов в виде гистограмм, круговых диаграмм и графиков, позволяющих провести полный анализ полученных результатов.

В блоке «Исследование» в одну строку формируется сводная таблица результатов, включающая значения удельных расходов материалов, технико-экономических показателей, параметров металла, шлака и газа и других необходимых показателей для выбранного варианта технологии. Путем тиражирования результатов каждого расчета можно формировать таблицу многовариантных исследований с последующей возможностью построения графиков.

Модули «Энтальпии», «Активности», «Реакции», «Оптимизация», «Графика» и «Исследование», а также используемые базы данных являются стандартными и могут применяться для расчетов любых типов процессов путем согласования данных с блоками «Исходные данные» и «Балансы», которые, как и модуль «ТЭП», адаптированы к конкретному варианту технологии.

С использованием разработанных программ и баз данных «Инжиниринг-Металлургия» можно осуществлять любые расчеты, решая как прямую задачу прогнозирования, так и обратную задачу управления, поводить исследования процессов, осуществлять многовариантные расчеты и строить зависимости различных показателей от требуемых параметров, решать задачу оптимизации по различным критериям.

#### **Список использованных источников**

1. Рыбенко И.А. Применение методики и инструментальной системы расчета металлургических процессов для разработки теоретических основ ресурсосберегающих технологий: монография / И.А. Рыбенко; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 187 с.
2. Рыбенко И.А. Методика и система расчета и оптимизации статических стационарных режимов технологических процессов / И.А. Рыбенко, С.П. Мочалов, П.С. Мочалов // Металлургия: технологии, управление, инновации, качество: тр. XVII всерос. науч.-практ.

конф.; под ред. Е.В. Протопопова: Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. СибГИУ, 2013. – С. 29–32.

3. Рыбенко И.А. Разработка методики и системы расчета статических и стационарных режимов металлургических процессов / И.А. Рыбенко, С.П. Мочалов // Информационные технологии в экономике, науке и образовании: тр. 4-й всерос. науч.-практ. конф. – Бийск, 2004. – С. 135–136.

4. Мочалов С.П. Разработка методики и системы расчета процессов непрерывного получения металла в агрегатах струйно-эмульсионного типа [текст] / С. П. Мочалов, И. А. Рыбенко, В. Ю. Климов // Моделирование, программное обеспечение и наукоемкие технологии в металлургии: тр. всерос. науч.-практ. конф., посвященной 20-летию кафедры "Информационные технологии в металлургии", 2–5 апреля 2001 г. – Новокузнецк: СибГИУ, 2001. – С. 193–199.

5. Рыбенко И.А. Разработка методики и системы расчета вариантов технологий непрерывного получения металла в агрегатах струйно-эмульсионного типа: дис. канд. техн. наук: спец. 05.16.02: защищена 28.03.00: утв. 14.06.00 / И.А. Рыбенко. – Новокузнецк, 2000. – 165 с.: ил.

УДК 669.013

**А. Ю. Сахаров, В. В. Лавров, И. А. Гурин**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

## **РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЁТА КОЛИЧЕСТВА ОКСИДОВ АЗОТА, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В РАБОЧЕМ ПРОСТРАНСТВЕ ПЛАМЕННЫХ ПЕЧЕЙ**

### **Аннотация**

*В статье представлено описание программного продукта, предназначенного для автоматизации процессов расчета количества оксидов азота. Результаты этих расчётов могут использоваться для решения задач по уменьшению выброса оксидов азота в атмосферу. Так же эти расчеты позволяют выявить факторы, оказывающие наибольшее влияние на образование оксидов азота в продуктах горения топлива.*

*Ключевые слова: программное обеспечение, экология, оксиды азота.*

### **Abstract**

*The article describes a software product designed for the amount of nitrogen oxides automatic calculation. Their results may be used for solving issues of lowering the nitrogen oxides emission in atmosphere. Also this results helps to find the most influencing factors of forming NOx in combustion products.*

*Keywords: software, ecology, nitrogen oxides.*

В лабораторных работах по экологии студентам требуется выполнить большое количество расчётов. Для выявления зависимости изменения параметров приходится проводить повторные вычисления. Это сильно замедляет работу по исследованию и анализу полученных результатов, поэтому возникает потребность в автоматизации процесса расчётов.

В частности, такой задачей является расчёт количества оксидов азота, образующихся в рабочем пространстве печей. Для автоматизации расчета создано приложение, позволяющее вести расчёт по существующей методике [1–3].

Проектирование программного продукта

Структура приложения основывается на объектно-ориентированном подходе. В качестве среды разработки использованы Microsoft Visual Studio 2017, Blend for Visual Studio